

## АНАЛИЗ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ МТ-ДАННЫХ, ПОЛУЧЕННЫХ В ЮЖНОМ ПРИЛАДОЖЬЕ В 2018-2021 ГГ.

Куликов Виктор Александрович<sup>1</sup>, Ионичева Анна Павловна<sup>1</sup>, Пушкарев Павел Юрьевич<sup>1</sup>, Соколова Елена Юрьевна<sup>2</sup>, Яковлев Андрей Георгиевич<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> МГУ им. М.В. Ломоносова, Геологический факультет

<sup>2</sup> Институт физики Земли имени О.Ю. Шмидта РАН

### Введение

Впервые Ладожская региональная аномалия электропроводности земной коры была зафиксирована более 40 лет назад [Рокитянский и др., 1981] с помощью метода магнитовариационного зондирования (рис. 1). В последующие годы проводилось множество исследований этой зоны, в основном в Северном Приладожье [Korja et al., 2002; Берзин и др., 2002; Фельдман, Эринчек, 2009; Жамалетдинов и др., 2012; Ковтун и др., 2012; Stepanov et al., 2016].

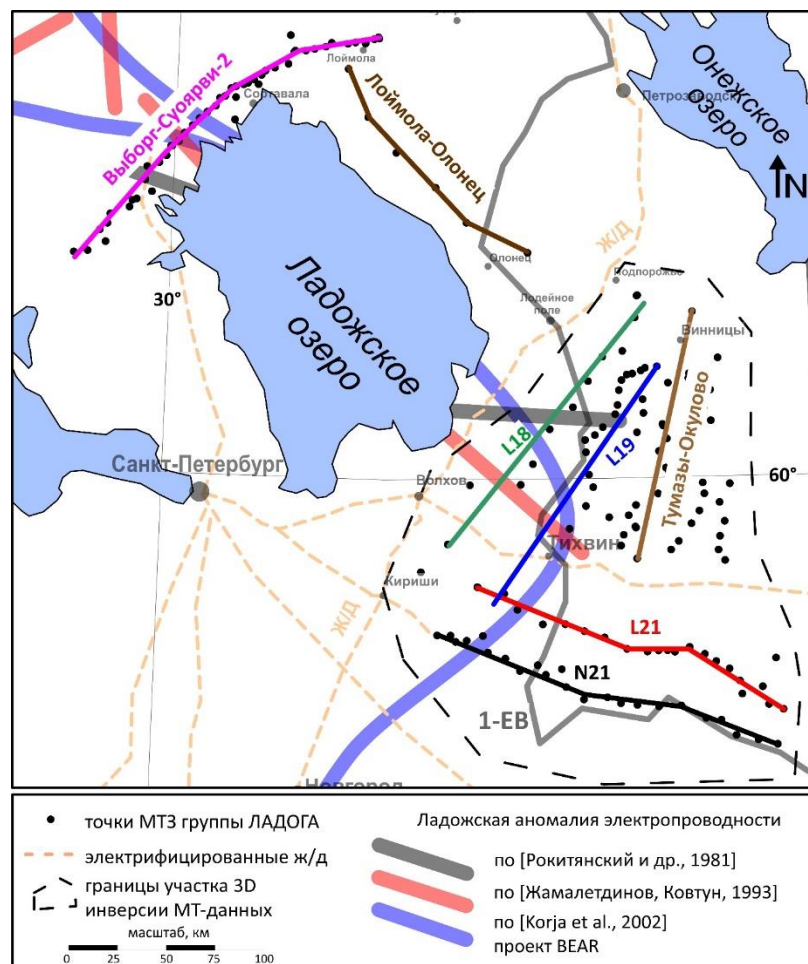


Рис. 1. Положение точек наблюдения группы ЛАДОГА в 2013-2021 гг. и Ладожской аномалии электропроводности по данным исследований 1981-2002 гг.

В результате этих работ Ладожская аномалия была достаточно детально изучена к северо-западу от одноименного озера. В Южном Приладожье в силу того, что все работы выполнялись по разрозненным профилям и на отдельных пунктах наблюдения аппаратурой предыдущего поколения, до сих пор остаются вопросы о форме, продолжении южной ветви

(рис. 1), структурной приуроченности и природе аномалии.

Новый этап изучения Ладожской аномалии начался в 2013 году рабочей группой ЛАДОГА, включающей в себя студентов и преподавателей Геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, сотрудников Института геологии КарНЦ РАН, ИФЗ РАН и сервисной геофизической компании ООО «Северо-Запад». На первом этапе, в период с 2013 по 2016 гг., основные работы группы ЛАДОГА проводились по-прежнему в Северном, а также и в СВ Приладожье [Соколова и др., 2016; Куликов и др., 2019]. Начиная с 2018 года основной объем измерений был перенесен в Южное Приладожье, а основными целями исследований стали изучение южной ветви Ладожской аномалии электропроводности и построение трехмерной геоэлектрической модели Южного Приладожья.

### **Тектоническое строение Южного Приладожья**

Территория Южного Приладожья охватывает область тройного сочленения крупных геоструктур (рис. 2): Карельский массив на северо-востоке, Южно-Прибалтийский пояс на северо-западе и Среднерусский пояс на юге. Раахе-Ладожская тектоническая зона развита вдоль окраины Карельского массива на СВ участка работ. Два структурно обособленных сегмента рассмотренного выше коллизионно-орогенного пояса - Среднерусский и Южно-Прибалтийский - обрамляют треугольную область взаимодействия геоструктур с юга и запада, соответственно.

### **Аппаратура и методика работ**

Наблюдения велись двумя типами аппаратуры: низкочастотные станции LEMI-417M (в работах 2018 г.) и новые магнитотеллурические станции «МЭРИ-Про» (в 2018 – 2021 гг.), разработанные в компании ООО «Северо-Запад» (г. Москва), - в попарно-синхронном режиме и сопровождались одновременными записями базовой станцией. Электрические линии длиной 80 м и индукционные датчики (IMS-010, ООО «Вега») были ориентированы на магнитные север и восток.

Обработка записей электромагнитных полей осуществлялась с помощью новой программы оценивания МТ/МВ передаточных функций EPI-KIT, разработанной в ООО «Северо-Запад» (автор - Епишкин Д.В.).

Для подавления помех, в частности от электрифицированных железных дорог, применялись такие методы, как: фильтр промышленных помех на измерителе, отбраковка зашумленных участков записи; использование удаленной базы и синхронных рядовых записей для remote-обработки.

По полученным облакам решений были проведены сплайны – сглаживающие кривые в программной системе МТ-Corrector (ООО «Северо-Запад»).

Для площадного анализа данных и трехмерной инверсии к материалам, полученным группой ЛАДОГА, были добавлены результаты магнитотеллурических работ на профиле 1-ЕВ (участок «Петля», рис. 1).

### **Результаты МТ-работ в Южном Приладожье**

Все результаты площадного анализа, в той или иной степени показывают, что на изучаемой территории выделяются три основных направления повышенной проводимости в земной коре: северо-западное, северо-восточное и широтное (рис. 2а,б).

Количественная интерпретация проводилась как в рамках двумерной инверсии по отдельным профилям в программе ZONDMT2D (автор – Каминский А.Е., г. Санкт-Петербург), так и в рамках 3D инверсии с помощью программы ModEM [Kelbert et al., 2014] по всему набору площадных данных. Наиболее представительным результатом 3D инверсии является выделение Ладожского ярко выраженного корового проводника, ось которого лежит

примерно на линии продолжения северо-восточного берега Ладожского озера (рис. 2в,г) и прослеживается на расстояние более 100 км. Ширина главной зоны проводника на глубине 20 км составляет около 22 км. По мере увеличения глубины карт-срезов УЭС наблюдается смещение основной оси проводника в ЮЗ направлении.

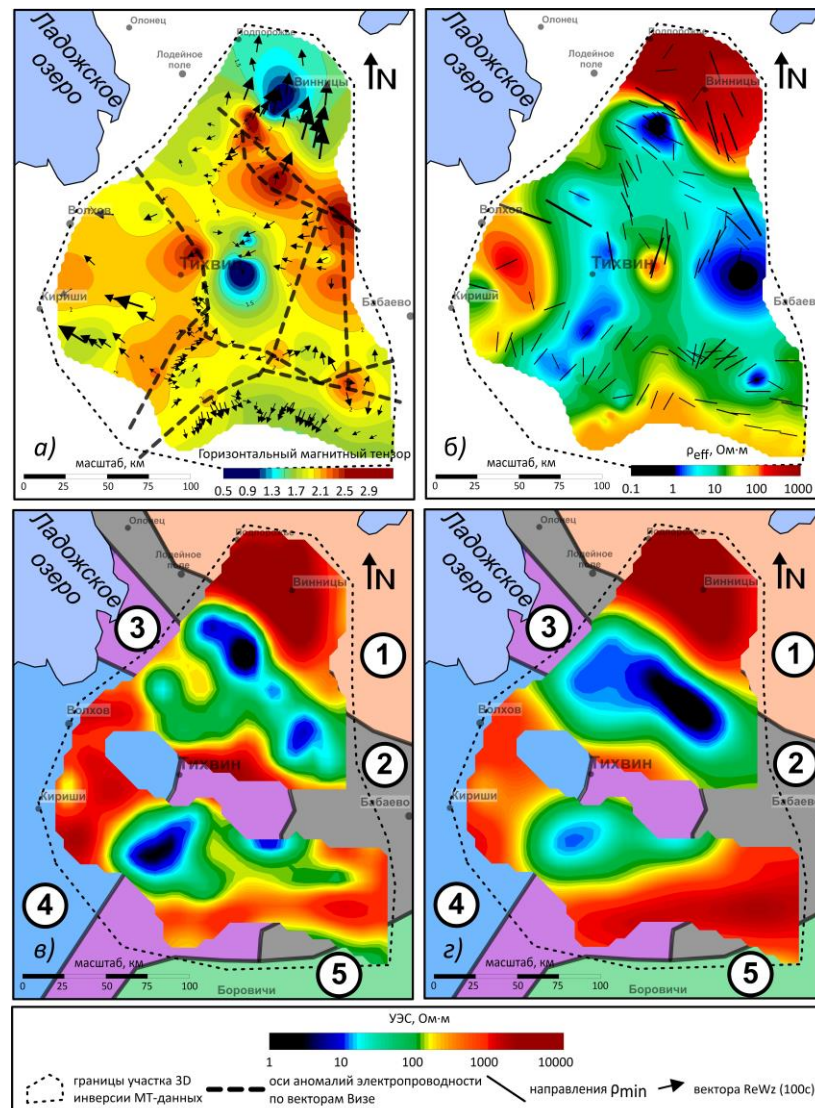


Рис. 2. а) Карта ГМТ ( $T=100$  с); б) карта  $\rho_{\text{eff}}^k$  ( $T=500$  с); удельное электрическое сопротивление на глубине: а) 15 км; б) 30 км

1 – Карельский массив; 2 – Ладого-Ботнический пояс (метавулканиды и метаосадки континентальной окраины Карельского массива); 3, 4 – Южно-Прибалтийский гранулитогнейсовый пояс (гранулитогнейсы преимущественно: 3 – основного состава, 4 – кислого состава); 5 – Среднерусский пояс

Еще один менее контрастный проводник СЗ направления проходит через центральную часть Ладожского озера. К этой структуре приурочен известный Паша-Ладожский грабен.

В северо-западной части профилей L21 и N21 на юго-западе изученного участка проявлена контрастная проводящая структура северо-восточного простирания (рис. 2в,г) - Ильменская коровая аномалия электропроводности.

Влияние проводника субширотного направления, наиболее ярко проявившегося по результатам качественного анализа в юго-восточной части участка работ, сказывается на результатах 3D инверсии в виде увеличения мощности приповерхностного проводника,

значительно превосходящего известные мощности осадков.

### **Выводы**

Крупные проводящие структуры, установленные по результатам 3D инверсии МТ данных, можно, прежде всего, соотнести с сильно тектонизированными и метаморфизованными осадочными породами, первоначально насыщенными органическим и карбонатным веществом. Мощная призма осадков такого типа накопилась в палеопротерозое в пределах континентального склона Карельского массива. В процессе коллизии эти отложения испытали погружение на большие глубины в пределах поддвиго-надвиговых сутурных зон, оказавшись перекрытыми средне- и нижнекоровыми покровами гранулитогнейсов. В результате метаморфизма и развития зон бластомилонитов в метаосадках произошло выделение свободных фаз углерода и кристаллического графита, образующего скопления в зонах скупивания и многократного сдвигивания мелких тектонических пластин. Подобные явления предполагаются в зонах субдукции, но в рассмотренном случае не обнаружено признаков существования океанической коры и ее погружения. Вероятнее всего, рассмотренные процессы были связаны с внутриконтинентальными безофиолитовыми сутурными зонами.

### **Список литературы**

1. Берзин Р.Г., Куликов В.А., Каплан С.А. Построение геоэлектрического разреза земной коры по данным МТЗ на участке Тихвин–Молоково профиля 1-ЕВ: Пятые геофизические чтения им. В.В. Федынского // М.: ГЕОН. 2002. 1 с.
2. Жамалетдинов А. А., Ковтун А. А. Схема электропроводности северо-восточной части Балтийского щита. Параметры «нормального» разреза // Строение литосферы Балтийского щита / Под ред. Н. В. Шарова. М.: МГК РАН, 1993. С. 86–88.
3. Ковтун А.А., Варданыц И.Л., Параметры астеносферы фенноскандинавского щита по магнитотеллурическим данным эксперимента BEAR // Вопросы геофизики. Выпуск 45. СПб., 2012 — (Ученые записки СПбГУ; № 445). С. 67-78.
4. Куликов В.А., Соколова Е.Ю., Десятов Д.О. и др. Новые данные МТЗ-ГМТЗ по профилю Кириши-Подпорожье 2018г. // Сборник тезисов Международной геолого-геофизической конференции и выставки "ГеоЕвразия-2019. Современные технологии изучения и освоения недр Евразии" / М.: 2019. — С. 446–452.
5. Рокитянский И.И., Кулик С.Н., Рокитянская Д.А. Ладожская аномалия электропроводности // Геофиз. журнал. Украинская академия наук. 1981. №3. С. 97–99.
6. Соколова Е.Ю., Голубцова Н.С., Ковтун А.А., Куликов В.А., Лозовский И.Н., Пушкарев П.Ю., Рокитянский И.И., Таран Я.В., Яковлев А.Г. Результаты синхронных магнитотеллурических и магнитовариационных зондирований в районе Ладожской аномалии электропроводности // Геофизика. 2016. № 1. С. 48-61.
7. Фельдман И.С., Эринчек Ю.М. Геоэлектрическая модель земной коры вдоль профиля I-ЕВ (Балтийский щит – Прикаспийская синеклиза) // Материалы Всероссийской школы-семинара по электромагнитным исследованиям Земли / М.: 2009.
8. Kelbert, A., N. Meqbel, G. D. Egbert, and K. Tandon. ModEM: A modular system for inversion of electromagnetic geophysical data // 2014. Comput. Geosci. V. 66. P. 40–53.
9. Korja, T., Engels, M., Zhamaletdinov, A.A., Kovtun, A.A., Palshin, N.A., Smirnov, M.Yu., Tokarev, A.D., Asming, V.E., Vanyan, L.L., Vardaniants, I.L., and the BEAR Working Group. Crustal conductivity in Fennoscandia – a compilation of a database on crustal conductance in the Fennoscandian Shield // Earth Planets Space. 2002. Vol. 54. P. 535–558.
10. Stepanov K. Antashchuk K., Saraev A. Clarification of Pasha Rift Structure in Pasha-Ladoga Basin Based on AMT and Gravity Data // Geophysica. 2016. V. 51. № 1–2. P. 51–67.